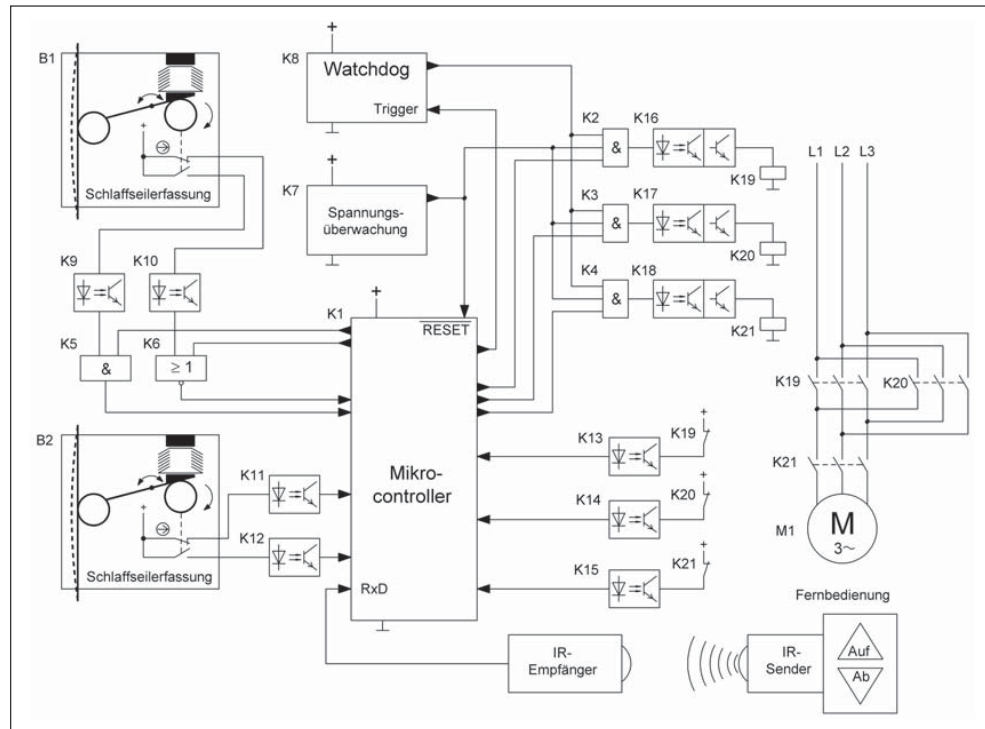


8.2.13 Unterlast-Erkennung für Leuchtenhänger – Kategorie 2 – PL d (Beispiel 13)

Abbildung 8.23:
Kombinierte elektro-
mechanische und
programmierbare
elektronische Steuerung
zur Verhinderung
der Unterlast von
Leuchtenhängern

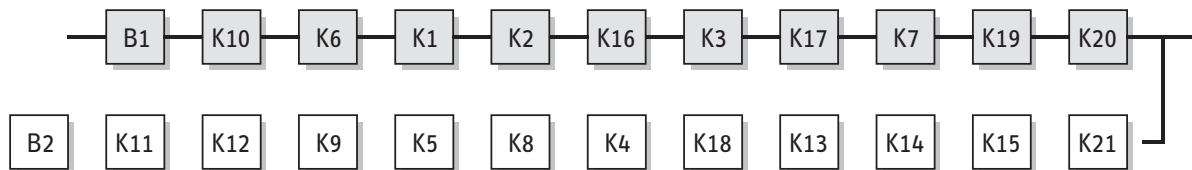


Sicherheitsfunktion

- Unterlast- bzw. Schlaffseilerkennung: Bei Erkennung der Unterlast eines Leuchtenhängers (schlaffes Tragmittel/Seil) wird die Abwärtsbewegung gestoppt (STO – sicher abgeschaltetes Moment).

Funktionsbeschreibung

- In der Studio- und Bühnentechnik werden zahlreiche elektromotorisch betriebene Leuchtenhänger eingesetzt. Bei der Abwärtsbewegung besteht die Gefahr, dass Unterlast (d.h., das Tragmittel wird schlaff) durch Verklemmen oder Verkanten der geführten Last oder durch Aufsetzen auf andere Gegenstände auftritt. Hierbei besteht die Gefahr, dass z.B. das Hindernis plötzlich nachgibt, die Last durchschlägt und in der Folge Personen im Gefahrenbereich gefährdet werden.
- Auf- und Abwärtsbewegungen des Leuchtenhängers können z.B. über eine Infrarot-Fernbedienung gesteuert werden. Diese Funktion wird hier nicht bewertet, sie ist aber immer sicherheitsgerichtet auszuführen.
- Um einen Absturz des Leuchtenhängers durch Reißen eines Tragmittels zu vermeiden, wird die Last von zwei Tragmitteln getragen. An jedem Tragmittel befindet sich ein Schlaffseilschalter B1 bzw. B2 mit einer Öffner-Schließer-Kombination.
- Der Mikrocontroller K1 wertet die Schaltzustände der Schlaffseilschalter B1 und B2 aus. Weiterhin steuert K1 über Logikgatter K2/K3 und optoentkoppelte Transistorverstärker K16/K17 die Hilfsschütze K19 und K20 für die Auf- bzw. Abwärtsbewegung des Leuchtenhängers an.
- Die Schaltzustände der Kontakte der Schlaffseilschalter B1 und B2 werden vom Mikrocontroller K1 ausgewertet und auf Plausibilität geprüft. Zur Testung der verwendeten Eingänge des Mikrocontrollers werden die Signale des Schlaffseilschalters B1 zwangsdynamisiert. Hierzu erzwingt der Mikrocontroller über Logikgatter K5 und K6 einen kurzzeitigen Wechsel der Signale, um festzustellen, ob die Eingänge den Signalwechsel noch übertragen können. Die Zwangsdynamisierung der Signale eines Schlaffseilschalters ist ausreichend.



- Im Mikrocontroller K1 werden Selbsttests der integrierten Einheiten wie Recheneinheit, Arbeits- und Festwertspeicher durchgeführt. Die Spannungsüberwachung K7 bemerkt Fehler in der Versorgungsspannung. Fehler im Mikrocontroller werden durch eine zeitliche Programmlaufüberwachung im Watchdog K8 erkannt. Die Bauteile K19 bis K21 zur Steuerung der Auf- bzw. Abwärtsbewegung des Leuchtenhängers werden mithilfe einer Rücklesung – entkoppelt durch Optokoppler K13 bis K15 – im Mikrocontroller überwacht. Im Falle eines erkannten Fehlers erfolgt eine übergeordnete Abschaltung über das Hilfsschütz K21 – angesteuert durch Logikgatter K4 und entkoppelt durch Optokoppler K18 – durch das fehlererkennende Bauteil. Wird der Watchdog K8 nicht rechtzeitig vom Mikrocontroller K1 retriggert, erfolgt ausgehend von K8 über alle Logikgatter K2 bis K4 ein Stillsetzen der Bewegung des Leuchtenhängers.

Konstruktive Merkmale

- Grundlegende und bewährte Sicherheitsprinzipien sowie die Anforderungen der Kategorie B sind eingehalten. Schutzbeschaltungen wie in den ersten Abschnitten von Kapitel 8 beschrieben sind vorgesehen.
- Die Erkennung einer Unterlast erfolgt redundant über beide Tragmittel mithilfe der beiden Schaffseilschalter B1 und B2. Diese enthalten zwangsöffnende Positionsschalter entsprechend DIN EN 60947-5-1, Anhang K.
- Ein stabiler Aufbau der Betätigungsmechanik der Schaffseilschalter ist sichergestellt.
- K19 bis K21 besitzen zwangsgeführte Kontaktelemente entsprechend DIN EN 60947-5-1, Anhang L.
- Die Programmierung der Software (SRESW) von K1 erfolgt entsprechend den Anforderungen für PL d und den Hinweisen in Abschnitt 6.3.

Bemerkungen

- Der Entwurf zu DIN 15560-46 fordert in Abschnitt 5.1.2 mindestens zwei Tragmittel, um den Absturz eines Leuchtenhängers und seiner Last zu verhindern.
- In geeigneten Zeitabständen sind Sichtprüfungen bzw. Wartungen der Tragmittel vorzunehmen.
- Die gezeigte Schaltungsstruktur ist in Teilen nicht explizit dazu ausgelegt, mögliche Gefährdungen durch ungewollte Bewegungen des Leuchtenhängers (unerwarteter Anlauf) zu verhindern.
- Die verwendete Schaltungsstruktur erreicht für die betrachtete Sicherheitsfunktion – wie die Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit zeigt – PL d. Die Anwendung des Risikographen zur Bestimmung der erforderlichen Performance Level PL_r mit den Parametern S2, F1 und P1 führt nach DIN 15560-46, Abschnitt B.1.1.3.3, unter der Voraussetzung, dass der Betrieb mit Beaufsichtigung erfolgt und dass die Leuchtenhänger nur von Fachleuten betrieben werden, auf einen $PL_r = c$. Ist dies nicht der Fall, ist $PL_r = d$ erforderlich.

Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit

- Zur besseren Übersicht werden in Abbildung 8.23 Bauteile zu Blöcken zusammengefasst. K9 bis K15 beinhalten je einen Optokoppler und zwei Widerstände. K16 bis K18 beinhalten zusätzlich je einen Transistor zur Ansteuerung der nachfolgenden Hilfsschütze.

- Zur Anwendung des vereinfachten Verfahrens für die Abschätzung des erreichten PL werden die Bauteile der Schaltung wie folgt den Blöcken der vorgesehenen Architektur für Kategorie 2 zugewiesen:

I: B1
 L: K10, K6, K1, K2, K16, K3, K17, K7
 O: K19, K20
 TE: B2, K11, K12, K9, K5, K8, K4, K18, K13, K14, K15
 OTE: K21

- $MTTF_d$: Die für die Berechnung benötigten $MTTF_d$ -Werte stammen aus DIN EN ISO 13849-1 [N], SN 29500-2 und SN 29500-14 [D]. Für B1 und B2 werden folgende Kennwerte angesetzt: $B_{10d} = 100\,000$ Zyklen [G], $n_{op} = 10$ Zyklen/Jahr. Für die Hilfsschütze K19 bis K21 gilt: $B_{10d} = 400\,000$ Zyklen [N], $n_{op} = 10$ Zyklen/Tag an 365 Arbeitstagen. Für den Mikrocontroller K1 wird eine $MTTF_d$ von 1141 Jahren [D] angesetzt. Für die elektronischen Bauteile werden folgende $MTTF_d$ -Werte angesetzt [D]: 4 566 Jahre für Watchdog K8, 5 707 Jahre für die Optokoppler K9 bis K18, 22 831 Jahre für die Logikgatter K2 bis K6, 38 051 Jahre für die Spannungsüberwachung K7 und 45 662 Jahre für Transistoren bzw. 228 310 Jahre für Widerstände. Durch Aufsummierung der Ausfallraten aller Bauteile des funktionalen Kanals (Blöcke I, L und O) ergibt sich eine $MTTF_d$ von 288 Jahren. Diese wird gemäß den Anforderungen der Norm auf 100 Jahre beschnitten („hoch“).
- Die $MTTF_d$ des Testkanals ergibt sich durch Aufsummierung der Ausfallraten aller Bauteile der Blöcke TE und OTE. Sie beträgt 393 Jahre und ist damit größer oder gleich der Hälfte der $MTTF_d$ des funktionalen Kanals.
- DC_{avg} : $DC = 60\%$ für B1, K10 und K6 durch Kreuzvergleich von B1 und B2 in K1 mit geringer Anforderungsrate der Sicherheitsfunktion. $DC = 60\%$ für K1 durch zeitliche Programmlaufüberwachung und Selbsttests einfacher Wirksamkeit. $DC = 99\%$ für K2, K3, K16, K17, K19 und K20 durch direkte Überwachung über zwangsgeführte Kontakte. Für K7 ist $DC = 0\%$. Die Mittelungsformel für DC_{avg} ergibt 85 % („niedrig“).
- Ausreichende Maßnahmen gegen Ausfälle infolge gemeinsamer Ursache (65 Punkte): Trennung (15), Schutz gegen Überspannung (15) und Umgebungsbedingungen (25 + 10).
- Die Kombination der Steuerungselemente entspricht Kategorie 2 mit hoher $MTTF_d$ pro Kanal (100 Jahre) und niedrigem DC_{avg} (85 %). Damit ergibt sich eine mittlere Wahrscheinlichkeit gefährlicher Ausfälle von $2,72 \cdot 10^{-7}$ /Stunde. Dies entspricht PL d.

Weiterführende Literatur

- DIN 15560-46: Scheinwerfer für Film, Fernsehen, Bühne und Fotografie – Teil 46: Bewegliche Leuchtenhänger; Sicherheits-technische Anforderungen und Prüfung (Normentwurf) (06.07). Beuth, Berlin 2007
- Sicherheit bei Produktionen und Veranstaltungen – Leitfaden BGI 810. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2006, http://www.vbg.de/imperia/md/content/produkte/broschueren/bgi_810_.pdf

Subsystem BGIA

Dokumentation | PL | Kategorie | **MTTFd** | DCavg | CCF | Blöcke

Kanal 1

Name	DC [%]	MTTFd [a]
• BL B1	60 (Low)	100000 (-)
• BL K10	60 (Low)	5435,96 (-)
• BL K6	60 (Low)	22831,05 (-)
• BL K1	60 (Low)	1141,55 (-)
• BL K2	99 (High)	22831,05 (-)
• BL K16	99 (High)	4857,67 (-)
• BL K3	99 (High)	22831,05 (-)
• BL K17	99 (High)	4857,67 (-)

Kanal 2

Name	DC [%]	MTTFd [a]
------	--------	-----------

Unterlasterkennung

PLr d
 PL d
 PFH [1/h] 2,72E-7

SB Leuchtenhänger Steuerung

PL d
 PFH [1/h] 2,72E-7
 Kat 2
 MTTFd [a] 100 (High)
 DCavg [%] 85,71 (Low)
 CCF 65 (erfüllt)

Abbildung 8.24:
 PL-Bestimmung mithilfe
 von SISTEMA